

de nouveau-nés dont la mère avait consommé, au cours des deux dernières semaines de grossesse, des sucreries et du sirop à l'anis, et celles de nouveau-nés dont la mère n'en avait pas consommé. Une douzaine de femmes enceintes ont participé à l'essai «anis» et une douzaine à l'essai «sans anis». La consommation d'anis a été interrompue juste avant l'accouchement.

Après la naissance, on a testé les réactions des nouveau-nés à l'anéthole, qui confère son odeur à l'anis. L'anéthole a été dilué dans de l'huile de paraffine, de sorte que sa concentration était ajustée à celle du liquide amniotique. Deux types de tests ont eu lieu quelques heures après la naissance et le quatrième jour. Dans le premier test, les enfants étaient filmés pendant qu'on les exposait successivement pendant 10 secondes à un coton imbibé d'anéthole, puis à un coton imbibé d'huile de paraffine. À partir des films, on a décelé des mimiques «négatives» (abaissement des sourcils, plissement du nez, abaissement de la commissure des lèvres, détournement de la tête) et «positives» (succions, léchages). Alors qu'ils étaient âgés en moyenne de trois heures, les bébés des femmes non consommatrices d'anis ont manifesté plus de mimiques de dégoût que les autres, lesquels ont présenté plus de réactions positives à l'anis. Lorsque l'expérience est reproduite au quatrième jour, les différences de réactions disparaissent. Ainsi, la relation entre un odeur prénatale et une réaction faciale est très labile, sans doute parce que la familiarisation avec les odeurs environnantes est rapide.

Le second test a consisté à exposer les enfants simultanément à l'odeur d'anis et à l'odeur témoin de l'huile de paraffine et à les laisser choisir. Que ce test ait été réalisé quelques heures ou quatre jours après la naissance, les enfants nés de mère «anisée» ont orienté leur nez nettement plus longtemps vers l'odeur d'anis. En revanche, les autres n'ont manifesté aucune orientation préférentielle. Cette étude confirme que l'appétence pour une odeur peut être influencée, chez le nouveau-né, par une exposition prénatale. On en déduit que le nouveau-né peut enregistrer les informations olfactives que lui transmet sa mère à travers ses aliments, et que cette mémoire reste accessible au moins pendant quatre jours. On ignore encore si l'expérience olfactive fœtale influe sur les préférences olfactives et alimentaires à long terme. Si de tels effets existent pour les arômes alimentaires, pourquoi n'en irait-il pas de même pour les substances odorantes associées à la consommation d'alcool ou de tabac?

Le grand vert

Les mammifères marins sont les moins bien lotis en matière de vision des couleurs : leur rétine n'a que des cônes sensibles au vert.

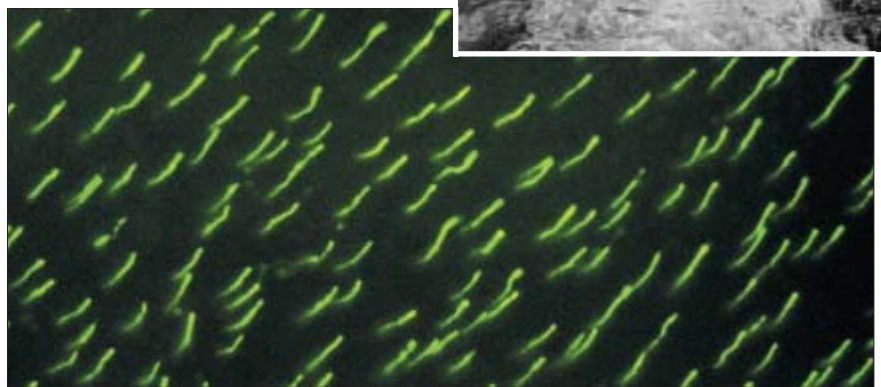
Tous les mammifères voient-ils le même arc-en-ciel? Non, loin s'en faut, car, selon les espèces, les rétines diffèrent, notamment par les types de cellules sensibles aux couleurs qu'elles contiennent : ce sont les cellules en cônes pourvues de pigments qui détectent des gammes spécifiques de longueurs d'ondes. La rétine des êtres humains et des primates est dotée de trois types de cônes qui captent respectivement la lumière bleue, rouge et verte. La plupart des autres espèces de mammifères n'ont que deux types de cônes : le plus souvent ceux sensibles au bleu et au vert, et, plus rarement, ceux qui détectent le rouge et le bleu. En étudiant 14 espèces de dauphins, d'otaries et de phoques, Léo Peichl, de l'Institut Max Planck, à Francfort, Günther Berhmann, de l'Institut Alfred Wegener, à Brème et Ronald Kröger, de l'Université de Lund en Suède, ont montré que la rétine des mammifères marins n'a qu'un seul type de cônes, ceux qui perçoivent le vert.

Outre les cônes, la rétine contient des cellules en bâtonnets sensibles à l'intensité lumineuse. Toutefois, la distinction des couleurs résulte non pas des longueurs d'ondes perçues, mais de la comparaison par le cerveau des informations émises par des objets proches perçus différemment : au moins deux types de cônes sont donc nécessaires. Grâce à des anticorps dirigés contre les pigments des cellules rétinienne, marqués

par des molécules fluorescentes, les zoologistes ont ainsi mis en évidence que les mammifères marins, dont la rétine n'a que des cônes qui détectent le vert, ne voient qu'en noir et blanc.

Le monde du silence est un monde quasi monochromatique et la vision des couleurs n'y apporte sans doute que peu, ou pas, d'avantage. Cependant, la détection du contraste et de la brillance dans des couleurs éloignées du spectre de sensibilité des cônes (le vert) est faible, et l'océan est bleu! La rétine des poissons qui vivent dans des conditions similaires ne contient que des cônes sensibles au bleu.

Ce paradoxe est renforcé par l'évolution convergente des ancêtres des différents types de mammifères marins. L'ancêtre des baleines à dents, tels les dauphins, est un artiodactyle (un ongulé à nombre pair de doigts) voisin de l'hippopotame, tandis que les pinnipèdes, tels les otaries ou les phoques, dérivent d'un ancêtre commun au loup, au furet et à la loutre. Or, la rétine de ces mammifères terrestres est dotée de cônes sensibles au bleu et au vert. Ainsi, lors du retour à la mer, les ancêtres des deux lignées marines ont toutes deux perdu les cônes sensibles au bleu. Quel peut-être l'avantage évolutif d'une telle perte?



Les dauphins, ainsi que les autres mammifères marins, ne voient qu'en noir et blanc. L'absence de vision des couleurs est due à la perte des cônes sensibles au bleu. Ainsi, la rétine de ces animaux n'a qu'un seul type de cônes. On les identifie grâce à des anticorps fluorescents. Les cônes sont fluorescents (en vert ci-dessus) et les espaces entre les cônes (en noir) sont occupés par les cellules en bâtonnets, qui détectent l'intensité lumineuse.

Léo Peichl

Selon les zoologistes, avant de rejoindre la pleine mer, les premiers mammifères marins vivaient près des côtes où les débris organiques et la flore rendent les longueurs d'ondes bleues rares. Aussi, la perte des cônes sensibles au bleu était-elle peut-être un

avantage sur le littoral côtier. De plus, la perte de la vision des couleurs a sans doute laissé de la place au traitement d'autres informations dans le cerveau des mammifères qui ont développé d'autres sens : par exemple, les dauphins repèrent leurs proies par

écholocalisation, tandis que les pinnipèdes ont des vibrisses sensibles aux turbulences de l'eau. L'absence de vision des couleurs a peut-être été le prix que les mammifères marins ont eu à payer pour accéder aux richesses alimentaires du grand océan.

La Terre, planète blanche

Un modèle climatique couplant l'océan et l'atmosphère rend compte de l'installation de la dernière glaciation.

Il y a quelque 20 000 ans, des hommes ornaient de peintures rupestres la grotte Cosquer près de Marseille à 40 mètres sous le niveau actuel de la mer, les glaciers alpins s'étendaient jusqu'à Lyon, et la Norvège était enfouie sous 2 000 mètres de glace. Ce fut le paroxysme d'une période de grand froid, tel que la Terre en connaît périodiquement. Lors de ces périodes de glaciation, les glaces des pôles envahissent les moyennes latitudes. Dans l'histoire climatique de la Terre au cours du Quaternaire, les glaciations ont plutôt été la règle que l'exception : un climat chaud, tel celui qui règne aujourd'hui, ne se retrouve que tous les 100 000 ans environ ; on parle alors de période interglaciaire. Comment la transition s'effectue-t-elle d'une période interglaciaire vers une glaciation ? La variation d'ensoleillement est la cause initiale des glaciations. Le

rôle de l'atmosphère dans le transfert de la chaleur est bien établi, mais on a récemment émis l'hypothèse que les océans jouent un rôle primordial dans l'installation des glaciations. Myriam Khodri et ses collègues du Laboratoire des Sciences du climat et de l'environnement (LSCE) ont utilisé un modèle numérique qui couple la circulation atmosphérique à celle des océans : il confirme cette hypothèse.

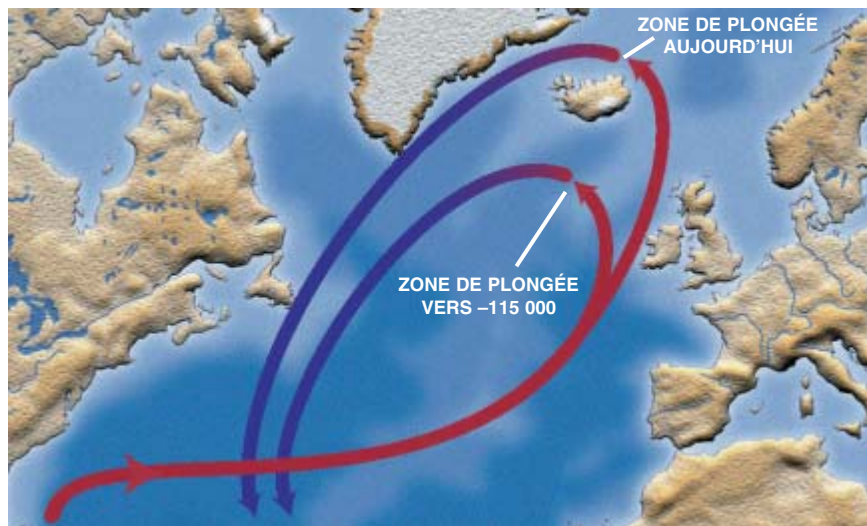
Le modèle a simulé sur une période de 100 ans le climat d'il y a 115 000 ans. Cette courte période est suffisante pour que l'on observe une modification notable du climat. Vers -115 000 ans, le climat était à peu de chose près semblable à celui d'aujourd'hui. Cependant, la distance Terre-Soleil en juin était plus grande et l'axe de rotation de la planète, moins incliné. Les saisons, qui dépendent de l'angle que font les rayons du Soleil avec l'axe de la Terre et de la distance au Soleil, sont devenues de moins en moins contrastées : il faisait moins froid en hiver et moins chaud en été, et à l'équateur où la température est quasi constante toute l'année, il faisait plus chaud. Les variations des températures à la surface des océans suivaient celles de l'atmosphère, avec une amplitude atténuée et un décalage de quelques mois. L'excès de chaleur à l'équateur

provoquait l'évaporation d'une importante quantité d'eau qui retombait en pluies aux latitudes supérieures. L'apport de cette eau douce dans l'hémisphère Nord a commencé à bouleverser la circulation océanique.

Les eaux circulent en décrivant une boucle à travers l'Atlantique, l'océan Indien et l'océan Pacifique, à une profondeur qui dépend de leur température et de leur salinité. Quand le Gulf Stream, la partie de cette boucle qui traverse l'Atlantique d'Ouest en Est et qui est constituée d'eaux chaudes, rencontre dans le Nord de l'Atlantique des eaux plus froides et moins salines, il s'enfonce très profondément dans l'océan. L'endroit où se situe cette zone de plongée confère à l'Europe son climat tempéré. Sans le Gulf Stream, le continent serait balayé par les vents glacés venant du Nord.

Vers -115 000 ans, cette zone était à la même position qu'aujourd'hui, c'est-à-dire dans la mer de Norvège. À cette latitude, les fortes précipitations et l'eau apportée par les fleuves ont diminué la salinité dans les couches de surface de cette mer et ont repoussé la zone de plongée vers le Sud. Au terme des 100 ans d'évolution qui ont été simulés par M. Khodri et ses collègues, cette zone était située au Sud de l'Islande. Le Gulf Stream ne remplissait plus alors son rôle de « radiateur » de l'Europe : 15 centimètres de neige persistaient même en été sur le Nord du continent eurasiatique. La neige, en augmentant l'albédo (la fraction d'énergie solaire réfléchie), a ensuite accéléré le refroidissement. De précédentes simulations avaient montré qu'une fois la glaciation amorcée, la végétation se modifie à son tour et accélère également le mécanisme : les forêts sont remplacées notamment par des steppes qui facilitent l'accumulation de la neige.

Le modèle a révélé que 100 ans suffisent pour qu'une période de glaciation s'installe. L'étude de la dernière période glaciaire, jusqu'à son maximum il y a environ 20 000 ans, exigera un modèle où l'on simulera des périodes plus longues. D'ores et déjà, le rôle primordial de la localisation de la zone de plongée du Gulf Stream dans la naissance de la dernière glaciation est avéré.

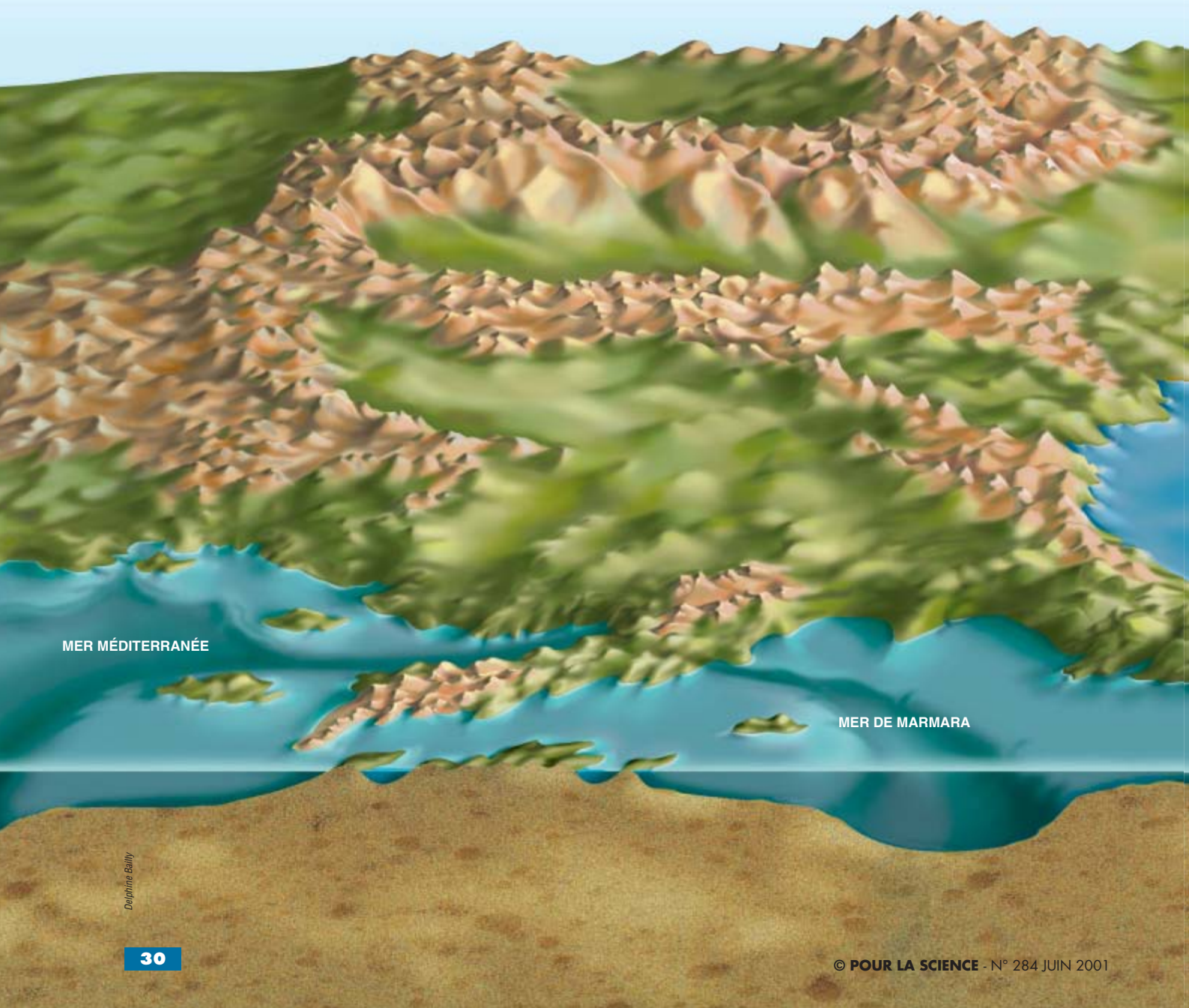


Circulation océanique dans l'océan Atlantique Nord : le Gulf Stream traverse l'océan d'Ouest en Est, puis, au large de l'Europe, remonte vers les hautes latitudes. Lorsqu'il rencontre des eaux froides et salées, il s'enfonce en profondeur. Aujourd'hui, cette zone de plongée se situe dans la mer de Norvège. Il y a 115 000 ans, elle était plus au Sud, sous l'Islande. Le Gulf Stream ne protégeait plus l'Europe des vents glacés venant du Nord, et il laissa s'installer la glaciation.

La catastrophe du Bosphore

GILLES LERICOLAIS

Il y a quelque 7 500 ans, la rupture du barrage naturel formé par la langue de terre qui sépare la Grèce de la Turquie aurait provoqué un déversement brutal des eaux méditerranéennes dans le bassin de la mer Noire. Certains y voient l'explication géologique du Déluge.

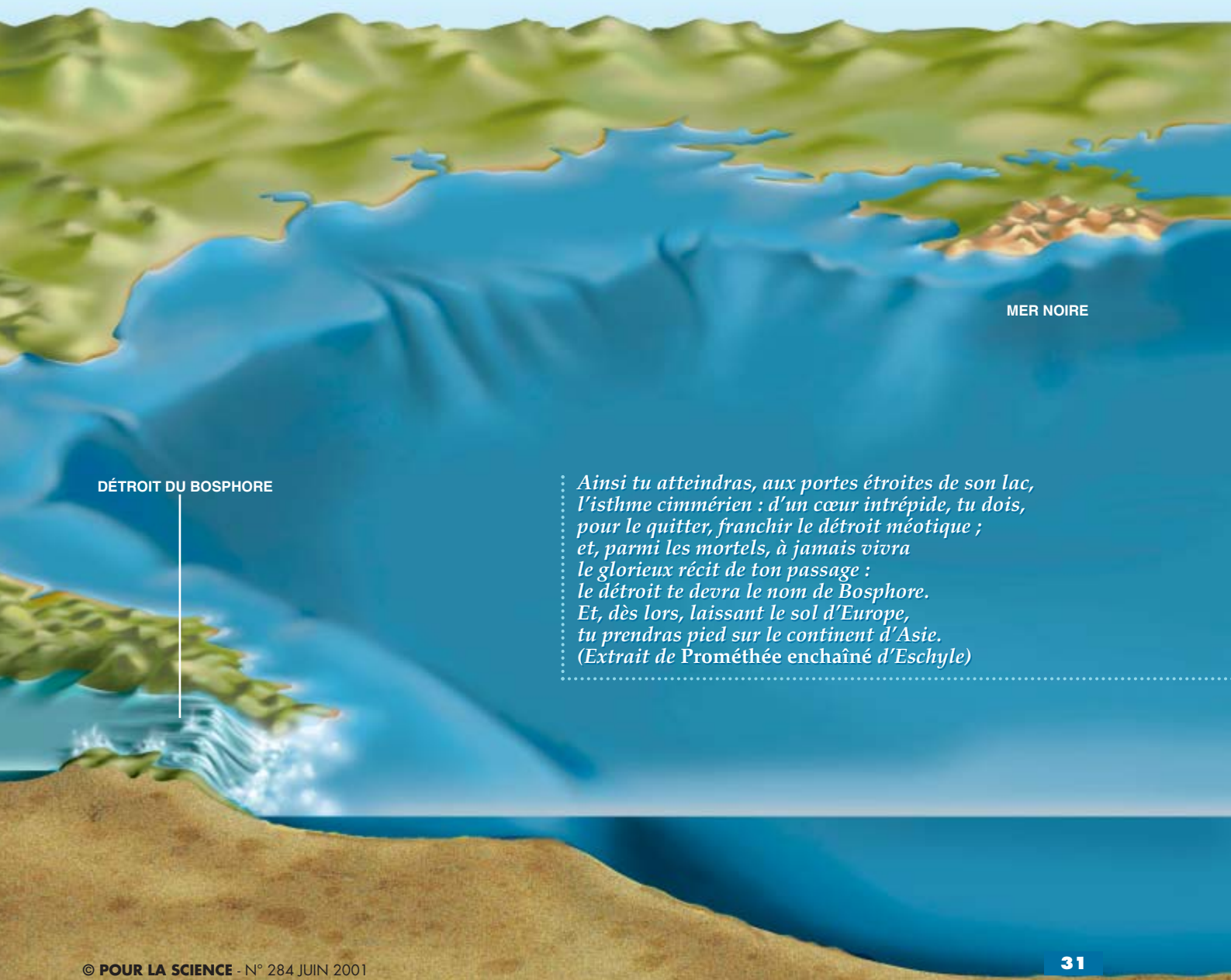


Dans *Prométhée enchaîné*, Eschyle évoque le franchissement du Bosphore par Io, la princesse transformée en une belle génisse blanche qui aurait traversé ce détroit pour fuir les poursuites assidues de Zeus. *Bosphore* signifie «passage de la vache» en grec, en souvenir de cet épisode. Mentionné dans la mythologie grecque, le Déluge est aussi évoqué par les historiens romains Pline l'ancien (23-79) et Diodore de Sicile (I^{er} siècle avant notre ère), qui tous deux font allusion à un brusque envahissement de la terre par les eaux. Leurs textes rappellent, bien sûr le Déluge biblique : «L'an six cent de la vie de Noé, le second mois, le dix-septième jour du mois, en ce jour-là, toutes les sources du grand abîme jaillirent, et les écluses des cieux s'ouvrirent. La pluie tomba sur la Terre quarante jours et quarante nuits.» Le Déluge

a-t-il une origine géologique? C'est la thèse de William Ryan et de Walter Pitman, géologues à l'Observatoire Lamont Doherty, à New-York, pour qui la mer Noire aurait été connectée à la mer Méditerranée à la suite d'une catastrophe naturelle. Le seuil du Bosphore se serait brusquement ouvert, et les eaux méditerranéennes se seraient précipitées en mer Noire. Avant ces travaux, les géologues avaient échafaudé plusieurs autres versions de la création du chenal du Bosphore. Toutefois, l'hypothèse de W. Ryan et W. Pitman semble encore plus solide depuis que le navire océanographique *Le Suroît* de l'IFREMER a prélevé des sédiments et étudié le fond au Nord-Ouest de la mer Noire. Les résultats de cette campagne indiquent que l'eau salée a brusquement envahi le bassin de la mer Noire, il y a quelque 7 500 ans.

Le Quaternaire en mer Noire

Tout au long du Quaternaire, les glaciations ont piégé l'eau de la Terre, puis l'ont libérée, phénomène qui, chaque fois, a eu des répercussions sur le bassin de la mer Noire. La dernière période glaciaire a commencé, il y a entre 115 et 120 000 ans et s'est achevée, il y a quelques milliers d'années seulement. Le dernier maximum glaciaire date de 20 000 ans environ, l'époque de l'homme de Cro-Magnon. Une bonne partie de l'hémisphère Nord était alors écrasée sous 50 millions de kilomètres cubes de glace. Une énorme calotte glaciaire, un inlandsis, recouvrait la Scandinavie et la Finlande. Elle culminait à plus de 3 000 mètres d'altitude et s'étendait aussi sur l'Écosse, sur une partie de l'Angleterre et de l'Irlande, et sur la mer du



DÉTROIT DU BOSPHORE

MER NOIRE

..... Ainsi tu atteindras, aux portes étroites de son lac,
..... l'isthme cimmérien : d'un cœur intrépide, tu dois,
..... pour le quitter, franchir le détroit méotique ;
..... et, parmi les mortels, à jamais vivra
..... le glorieux récit de ton passage :
..... le détroit te devra le nom de Bosphore.
..... Et, dès lors, laissant le sol d'Europe,
..... tu prendras pied sur le continent d'Asie.
..... (Extrait de *Prométhée enchaîné* d'Eschyle)

Nord (voir la figure 1). Le Nord de la France subissait un climat périglaciaire. Une calotte glaciaire encore plus vaste – l'inlandsis des Laurentides – recouvrait le Canada et les États-Unis, jusqu'à la latitude des Grands Lacs. À l'est de l'Europe, un inlandsis s'étendait sans

doute sur les actuelles mers de Barents et de Kara, au Nord de la Sibérie.

La déglaciation s'est amorcée lentement, il y a 18 000 ans. Irrégulier, le phénomène se serait déroulé en plusieurs étapes (voir la figure 2), avec des périodes successives d'accélération et

de stagnation, voire de refroidissement. Ainsi, au Dryas récent, il y a 11 000 ans, la Terre s'est refroidie pendant plusieurs siècles. L'inlandsis scandinave a fini par disparaître, il y a environ 8 000 ans et celui des Laurentides 1 000 ans après.

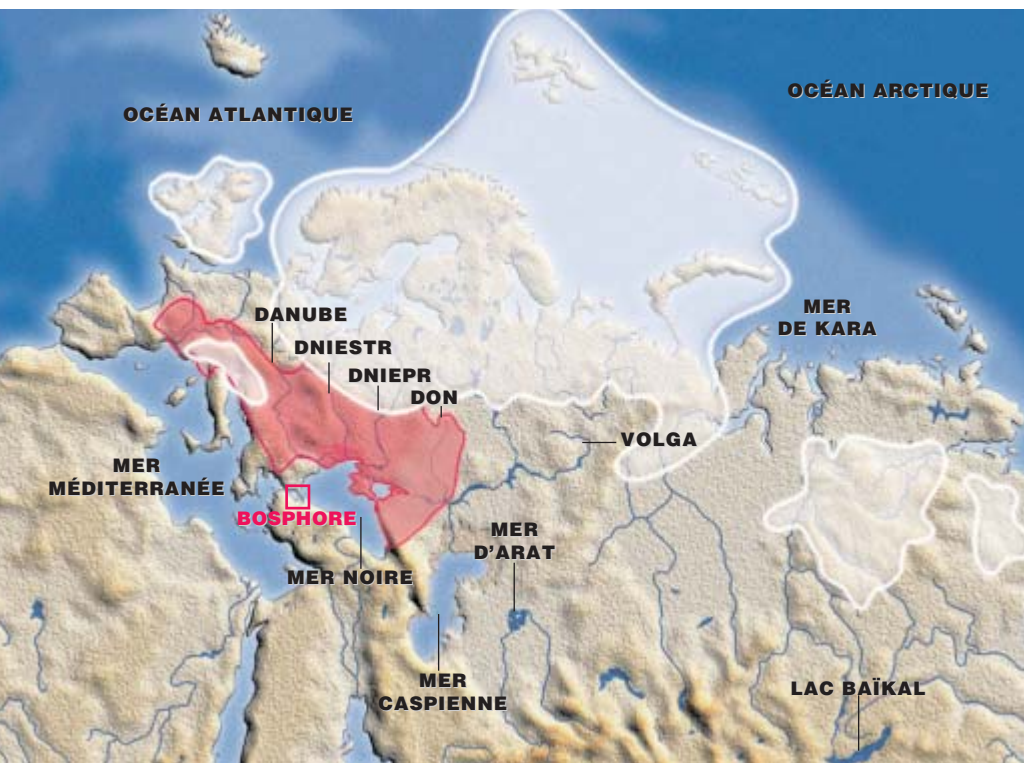
Ce phénomène de glaciations et de déglaciations successives s'est répété tout au long du Quaternaire. Au cours du Prétigilien, par exemple, il y a 2,5 millions d'années, un climat froid s'est installé sur le continent Nord-européen. La mer s'est alors retirée de nombreux bassins. Les géologues ont établi que depuis 900 000 ans, c'est-à-dire depuis le Bavélien, les glaciations se succèdent tous les 100 000 ans environ, touchant une grande partie de l'Europe et de l'Ouest sibérien.

L'immobilisation des eaux sous forme de glace entraîne la baisse du niveau des océans, niveau qui remonte lors de la fonte des glaces, phénomène que les géologues nomment le glacio-eustatisme. Ces modifications des océans sont liées à des changements climatiques drastiques, mais provoquent aussi des mouvements tectoniques, car la croûte terrestre remonte après s'être déchargée de la masse des glaciers. Ainsi, les régions de l'écorce terrestre où se trouve une épaisse calotte de glace descendent pendant les glaciations et remontent après, c'est la glacio-isostasie.

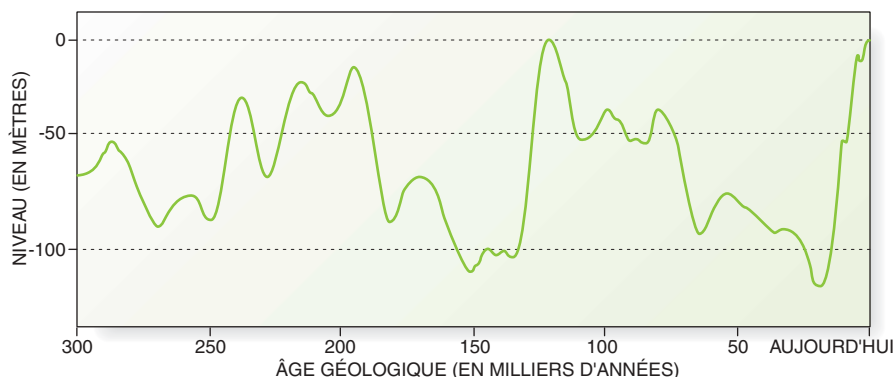
Au gré du glacio-eustatisme, la mer Noire est passée de l'état de lac à celui de mer. Le phénomène est attesté tout au long du Quaternaire par les sédiments alternativement lacustres ou marins au fond de cette mer. Dès que le seuil où se trouve aujourd'hui le Bosphore empêchait les échanges avec l'océan global – l'ensemble des mers terrestres –, le bassin de la mer Noire se transformait en lac. Sa profondeur était suffisante – jusqu'à 2 210 mètres – pour que son niveau oscille indépendamment de l'océan global pendant de longues périodes (voir la figure 3).

Les grands-fleuves d'Europe centrale

Toutefois, la rapidité du retour à l'état de mer dépendait aussi du nombre et du débit des fleuves qui se jetaient dans la mer Noire. De nombreux fleuves se sont toujours déversés dans ce bassin et aujourd'hui encore, pas moins de quatre grands fleuves européens s'y jettent : le Danube, le Dniepr, le Dniestr mais aussi le Don (par l'intermédiaire de la Mer d'Azov). Pendant l'ère qua-



1. LE DERNIER MAXIMUM GLACIAIRE remonte à 20 000 ans seulement. Une calotte de glace – un inlandsis – recouvrait alors le Nord de l'Europe. Il s'étendait sur ce qui est aujourd'hui l'Écosse et la Scandinavie, et aussi au Nord du Caucase (ci-dessus en blanc). Cet inlandsis mesurait plusieurs milliers de mètres d'épaisseur et alimentait probablement les fleuves qui se jetaient alors dans le bassin de la mer Noire. Aujourd'hui encore, quatre des plus grands fleuves européens se jettent dans ce bassin (ci-dessus en jaune). La Volga, qui se jette maintenant dans la mer Caspienne, s'est-elle jetée dans la mer Noire à cette époque reculée? Ou bien, la mer Caspienne était-elle reliée alors à sa voisine? Les géologues l'ignorent, mais ils savent que la mer Noire a reçu un afflux d'eau de fonte lors de la déglaciation, il y a 18 000 ans.



2. LES GLACIATIONS ET LES DÉGLACIATIONS ont alterné au cours des âges géologiques. Au cours des derniers 300 000 ans, le niveau de l'océan global, c'est-à-dire des mers connectées entre elles, a varié notablement : les trois principales glaciations ont fait baisser le niveau de l'océan mondial d'environ 100 mètres par rapport au niveau actuel. Une série d'autres glaciations de moindre amplitude l'a fait baisser d'au moins 50 mètres. Le dernier maximum glaciaire a eu lieu, il y a 20 000 ans. Puis, une déglaciation s'est engagée, qui a amené les mers à leur niveau actuel.

ternaire, les calottes glaciaires du Nord de l'Eurasie ont pu à plusieurs reprises détourner vers le Sud certains des fleuves qui se jettent aujourd'hui dans les mers arctiques. Au Saalien, il y a 140 000 ans, la Volga était vraisemblablement connectée à la mer Noire (elle se jette aujourd'hui dans la mer Caspienne située entre l'Iran et l'Azerbaïdjan). Ainsi, la mer Noire a toujours reçu d'abondants apports fluviaux, ce qui est attesté par l'épaisseur des sédiments accumulés sur ses marges et dans le bassin, sous la forme de couches de vases. Au cours des périodes de fonte des glaces, les nombreux fleuves qui s'y jetaient contribuaient à la remplir rapidement. Les géologues ont calculé que si, dans les conditions actuelles, le Bosphore était fermé, le niveau de la mer Noire remonterait de deux mètres par siècle. La mer Noire s'est-elle remplie plus vite ou moins vite que la mer Méditerranée ?

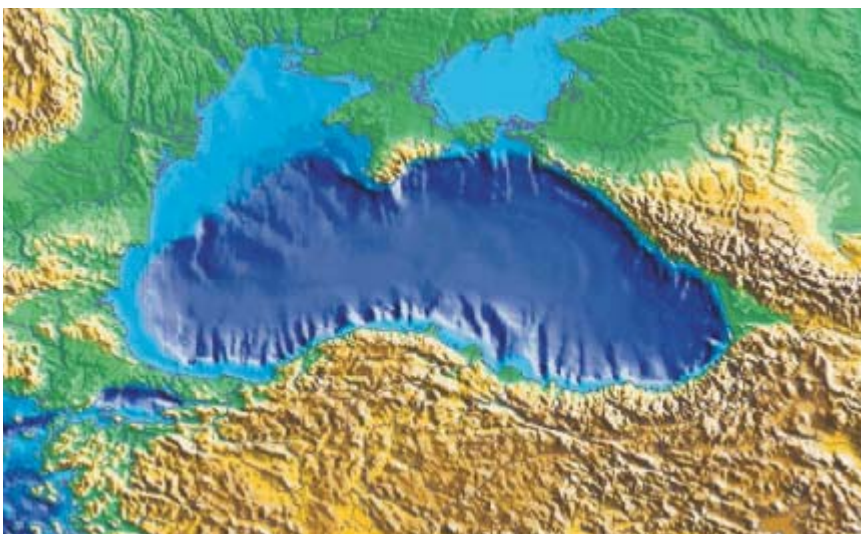
Le seuil du Bosphore

Le chenal par lequel la mer Noire et la mer Méditerranée communiquent a-t-il toujours existé ? Le Bosphore ressemble à un gué : sa largeur varie de 300 mètres à 3 kilomètres. Il est peu profond : seulement 35 mètres par endroits. S'agit-il là des caractéristiques d'un canal de formation récente ? Du point de vue des géologues, l'existence actuelle d'une circulation marine à travers le Bosphore résulte avant tout du niveau élevé atteint aujourd'hui par l'océan global (voir la figure 2). C'est donc un phénomène récent à l'échelle géologique. Toutefois, les forts courants qui caractérisent le détroit existaient déjà au temps des Grecs anciens. Ils sont par exemple évoqués dans le mythe des Argonautes où Jason part à la recherche de la Toison d'or. Ces courants rapides résultent notamment de la différence de densité entre la mer Méditerranée très salée (environ 38 grammes de sel par litre) et la mer Noire (environ 18 grammes de sel par litre d'eau) plus douce que sa voisine, car elle est alimentée par les apports fluviaux importants qu'elle collecte. Tandis que les eaux de la mer Noire s'écoulent en surface, un courant de fond y apporte l'eau salée de la Méditerranée. Malgré cet échange permanent, la mer Noire est peu salée.

L'étude des connexions successives de la mer Noire avec l'océan mondial repose sur l'analyse des sédiments qui s'y sont déposés. Les premiers travaux

ont été menés en 1938 par les océanographes russes Arkhangelskiy et Strakhov, qui montrèrent que le niveau de cette mer avait oscillé au cours des âges. Étant donné l'énorme débit fluvial qui s'est déversé en mer Noire au cours du Quaternaire, la sédimentation y a toujours été intense. En 1975, un forage au centre du bassin fut réalisé dans le cadre du programme international DSDP (pour l'anglais *Deep Sea Drilling Program*). La base de la couche correspondant au Pléistocène (la première et la plus longue des deux périodes du Quaternaire) n'a pu

être atteinte ; David Ross, géologue américain, a constaté que les sédiments se sont accumulés sur plus d'un kilomètre d'épaisseur ! Les données recueillies prouvent l'alternance entre faunes lacustres et marines : la mer Noire a été alternativement une mer et un lac. Les géologues ont aussi établi qu'il y a quelque 7 500 ans, les sédiments ont enregistré un brusque passage de conditions lacustres aux conditions marines d'aujourd'hui. Les «strates lacustres» se différencient nettement des «strates marines» par leur couleur. Quand la mer



3. LA MER NOIRE EST APPARUE IL Y A 58 MILLIONS D'ANNÉES, lorsqu'un gigantesque bouleversement géologique sépara le bassin de la mer Caspienne de celui de la mer Méditerranée. Elle est aujourd'hui beaucoup plus étendue qu'elle ne l'était il y a 20 000 ans. Son niveau était alors plus bas d'au moins 150 mètres. La mer Noire actuelle (*en haut*) est connectée à la mer Méditerranée par le mince et peu profond détroit du Bosphore. Face à la Crimée, l'Ukraine et la Bulgarie, elle s'étend sur une immense plate-forme continentale sur laquelle le Danube, le Dniepr et le Dniestr viennent déposer leurs alluvions. Derrière, la Crimée se trouve la mer d'Azov, où se jette le Don. En bas, la mer Noire, il y a 20 000 ans. Beaucoup moins étendue, elle coïncidait pratiquement avec la partie profonde du bassin (jusqu'à -2 210 mètres). La plate-forme continentale d'Ukraine émergeait alors, et constituait un immense bassin fluvial. Ce territoire de riches terres alluviales bien irriguées était sans doute peuplé.

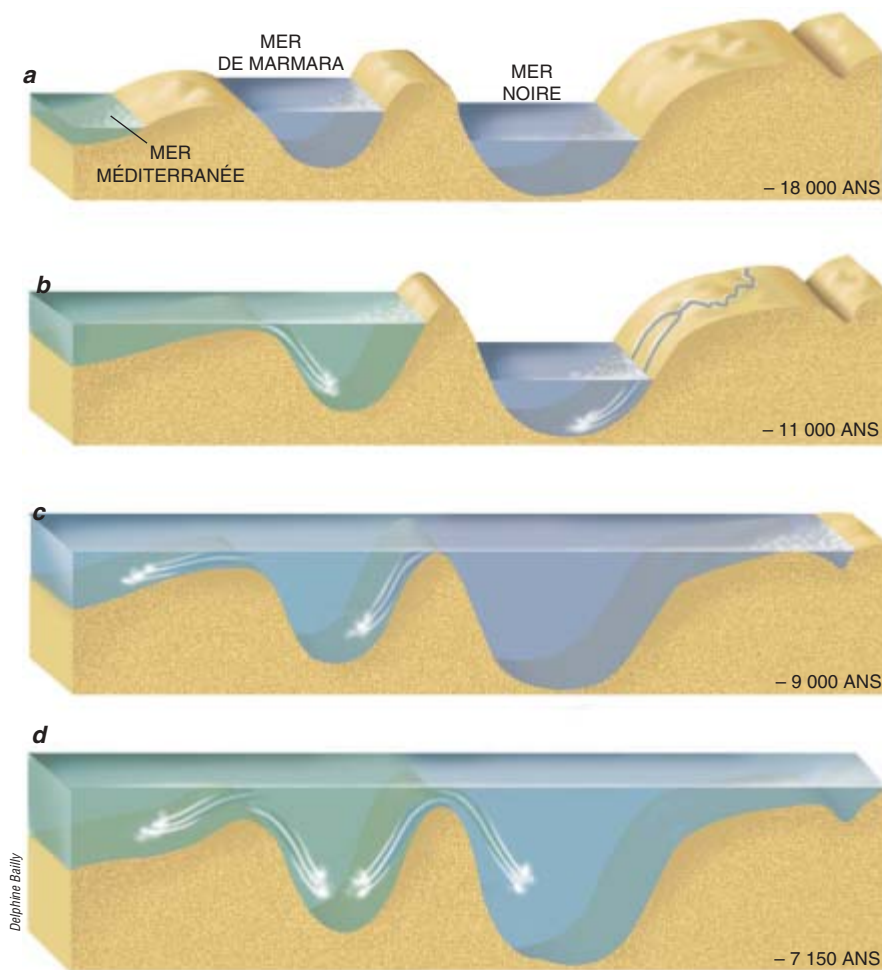
Noire était un lac, ses eaux étaient riches en oxygène. La vie s'y développait et la décomposition complète des matières organiques y était possible ; celles-ci se mêlaient aux alluvions dans les forts apports fluviaux et finissaient par se déposer au fond. En revanche, quand le bassin de la mer Noire était relié à la mer Méditerranée, il contenait une couche anoxique, c'est-à-dire dépourvue d'oxygène. Aujourd'hui, une telle couche anoxique existe dans la mer Noire, et commence vers 200 mètres de profondeur. Cette «zone de mort» sous-marine, empêche la décomposition des matières organiques une fois celles-ci parvenues au fond. Ainsi, durant les périodes «marines» de la mer Noire, des boues noires riches en matière organique se sont déposées. Nommées sapropèles (*sapros*, en grec, signifie pourri), ces boues très particulières sont faciles à reconnaître. Elles constituent des marqueurs essentiels de l'activité hydrologique du bassin de la mer Noire au cours des âges car elles se distinguent très bien des sédiments plus clairs déposés pendant les périodes lacustres.

Alternance entre phase lacustre et terrestre

L'alternance entre phase lacustre et marine en mer Noire est aujourd'hui bien établie. Comment nous renseigne-t-elle sur la façon dont la mer Noire s'est connectée à l'océan mondial via la Méditerranée ? Les géologues ont d'abord supposé que, lors de la dernière déglaciation, la mer Noire se serait remplie de pair avec la Méditerranée et l'aurait rejointe, il y a quelque 9 000 ans, à la suite du dernier maximum glaciaire (-20 000 ans). En 1972, les géologues Egon Degens et David Ross proposèrent un premier scénario : lors de la fonte massive des glaces, le niveau de la mer Méditerranée et celui de la mer Noire auraient monté, inondant simultanément la «digue» qui les séparait ; les eaux de la Méditerranée auraient progressivement pénétré en profondeur dans la mer Noire, qui serait devenue de plus en plus salée ; elles auraient été transportées par des courants parcourant la Méditerranée puis le fond du Bosphore, tout à fait identiques à ceux que nous observons aujourd'hui. Cette arrivée d'eau salée serait responsable de la formation de la couche anoxique dans la partie profonde du bassin et de la formation de la strate de sapropèles obser-

vée dans les carottes du forage de 1975. En effet, l'eau salée, plus dense, s'enfonce, repoussant l'eau douce vers la surface. Les eaux profondes salées ne peuvent plus aller s'oxygéner en surface, car l'eau douce, moins dense, joue le rôle d'un couvercle. Les niveaux coccolites (micro coquillages marins) qui surmontent la strate de sapropèles seraient les témoins des conditions de la sédimentation, mises en place il y a quelque 3 000 ans, et qui sont encore celles d'aujourd'hui. Pour établir ce scénario, E. Degens et D. Ross s'appuyaient surtout sur la courbe des variations du niveau de l'océan mondial (voir la figure 2).

Longtemps admis par la communauté scientifique, ce scénario de l'envahissement de la mer Noire par les eaux de la Méditerranée a été légèrement modifié en 1999, quand Ali Aaksu, Rick Hiscott, de l'Université de Terre-Neuve (Canada), et Durmaz Yasar, de l'Université d'Izmir (Turquie), ont publié les recherches sismiques qu'ils ont entreprises en mer de Marmara en 1995. Ces géologues se fondent sur la morphologie des corps sédimentaires sous-marins de la mer de Marmara ainsi que sur l'âge des sapropèles de la mer Égée pour affirmer que ce serait la mer Noire qui se serait déversée la première en mer de Marmara, creusant le



4. DEUX THÉORIES ont été proposées pour expliquer la dernière connexion entre la mer Noire et la mer Méditerranée. Selon la théorie d'A. Aksu (de a à d), il y a 18 000 ans, la mer Noire, de 150 mètres plus basse, était un lac séparé de la mer Méditerranée et de la mer de Marmara (a). À la déglaciation, les eaux de la mer Méditerranée et de la mer de Marmara seraient remontées, ainsi que la mer Noire, parce que cette mer recevait une grande partie de l'eau de fonte de la calotte de glace qui recouvrait le Nord de l'Europe (b). Drainée par quatre des plus grands fleuves européens et peut-être par la Volga, cette eau de fonte a fini par remplir le profond bassin de la mer Noire. Finalement, il y a quelque 9 000 ans, le niveau de la mer Noire et celui de la Méditerranée se seraient rejoints. Toutefois, le flux important d'eau douce de la mer Noire continuant à se déverser en Méditerranée aurait longtemps empêché la pénétration de l'eau salée méditerranéenne en mer Noire. Un régime quasi lacustre se serait alors installé en mer de Marmara et même en mer Égée. Il aurait fallu attendre deux mille ans avant que l'eau salée ne commence à pénétrer en mer Noire, et y tue les espèces lacustres. Selon la

chenal du Bosphore (la mer de Marmara est séparée de la mer Méditerranée par le détroit des Dardanelles et de la mer Noire par le détroit du Bosphore). La fonte des glaces aurait été responsable d'une élévation plus rapide du niveau de la mer Noire que celle du niveau de la Méditerranée : il y a 9 500 ans, la mer Noire contenant de l'eau douce se serait déversée dans la mer de Marmara, faisant ensuite déborder celle-ci dans la mer Égée. Le fort courant ainsi créé aurait empêché l'eau salée de la Méditerranée de pénétrer en mer Noire. Moins dense, l'eau douce en mouvement aurait recouvert l'eau salée et limité ainsi

les échanges d'oxygène entre les eaux profondes et celles de surface.

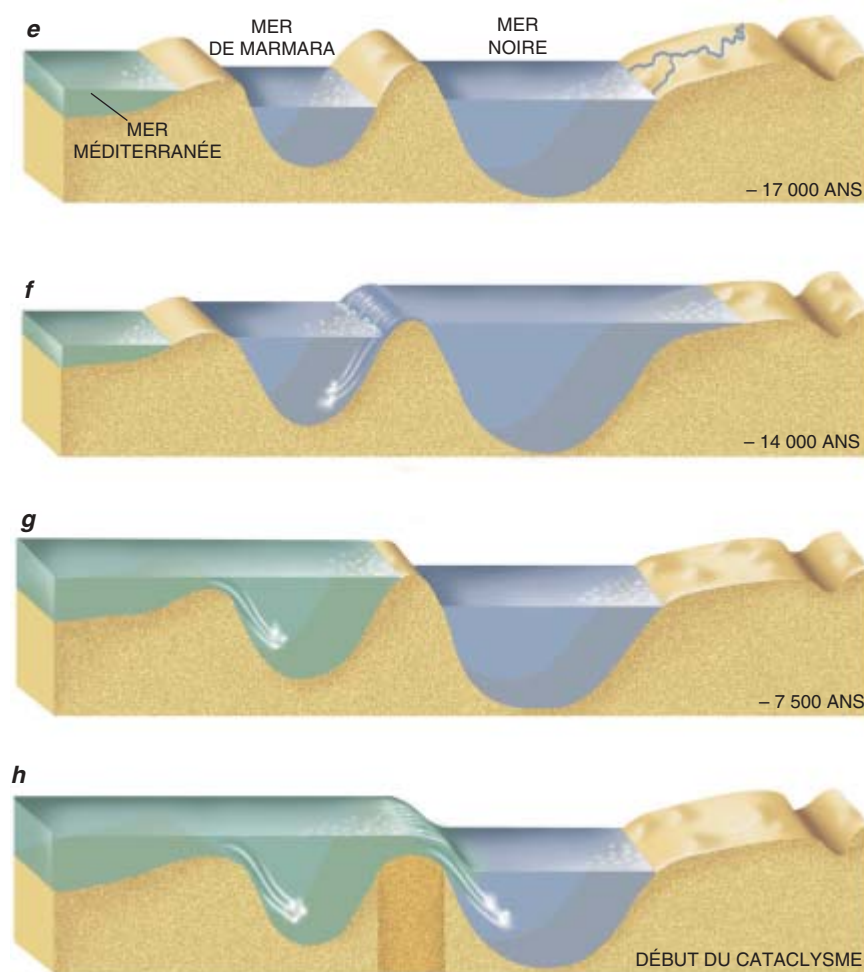
Ce phénomène serait responsable du dépôt de sapropèles en mer de Marmara et en mer Égée. Toutefois, A. Aaksu, R. Hiscott et D. Yasar notent aussi qu'il y a environ 7 000 ans, les coquillages d'eau douce présents en mer de Marmara ont été brusquement remplacés par des coquillages marins. Pourquoi aurait-il fallu attendre 2000 ans pour que les courants d'eau salée méditerranéens soient ressentis en mer Noire ? De surcroît, des sapropèles ont aussi été retrouvés en mer Adriatique, entre l'Italie et la péninsule des Balkans, où il est difficile d'envisager que les cou-

rants de la mer Noire auraient créé une zone anoxique ! La formation de ces sapropèles est-elle liée aux influences climatiques ? Aux relations entre l'Atlantique et la Méditerranée ? Aux apports d'eau douce du Nil ? Quoi qu'il en soit, l'origine de la dernière connexion entre la mer Noire et la mer Méditerranée demandait de plus amples vérifications (voir la figure 4).

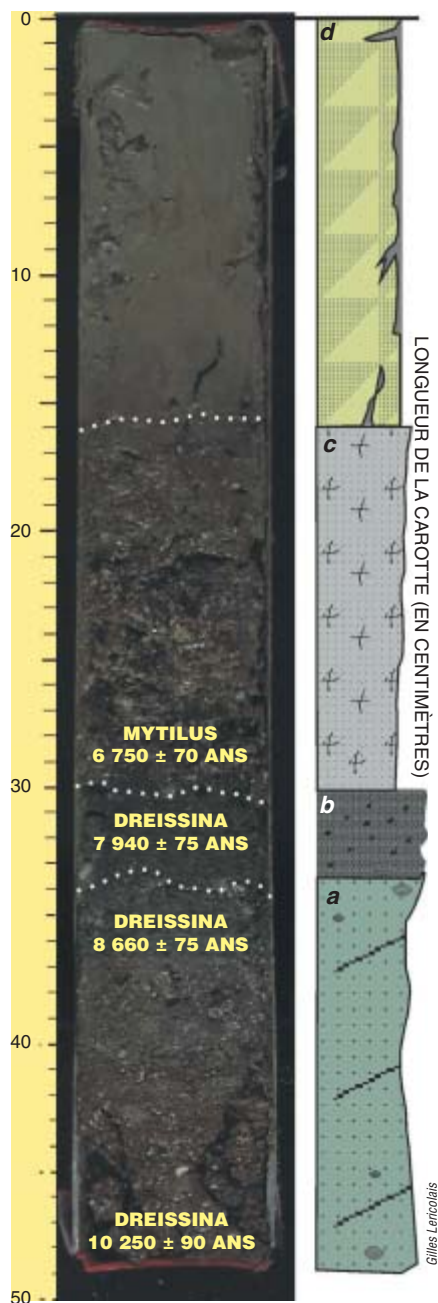
Nouvelle hypothèse

En 1999, W. Ryan et W. Pitman ont pour leur part, proposé d'expliquer cette connexion par une catastrophe naturelle. Il y a 7 500 ans, la dernière remontée des eaux en mer Méditerranée a été d'une ampleur extraordinaire : en un à deux ans, elle aurait provoqué la rupture de la langue de terre qui sépare la Grèce de la Turquie et l'ouverture du détroit du Bosphore ; le bassin de la mer Noire aurait alors été rempli par les eaux méditerranéennes. Comment W. Ryan et W. Pitman ont-ils échafaudé leur scénario ? En 1993, ils ont mené une campagne océanographique au large de la Crimée. Au cours de cette mission, ils identifièrent dans leurs carottes une zone de transition entre une phase lacustre et une phase marine. Manifestement, c'était le résultat d'un phénomène sous-marin d'érosion, cette zone étant constituée de débris de coquilles d'eau douce (*Dreissina polymorpha* et *rostriformis*) et de racines de plantes recouvrant un niveau à *Dreissina* (entières et intactes) ; elle était surmontée par un niveau constitué de coquilles marines, notamment de moules (*Mytilus galloprovincialis*). Les datations effectuées plus tard sur ces coquilles montrèrent que cette zone de transition datait d'environ 7 500 ans.

Selon W. Ryan et W. Pitman, la mer Méditerranée se serait engouffrée par le détroit du Bosphore dans le bassin de la mer Noire, alors un immense lac d'eau douce (voir la figure 4). Cette catastrophe, par sa date et par sa localisation, pourrait être l'événement qui a donné naissance au mythe du Déluge. Il y a 7 500 ans, les hommes du Néolithique qui vivaient dans la région du Moyen-Orient, avaient inventé l'agriculture, l'urbanisation ou encore le droit. Les alentours d'un grand lac d'eau douce où se jetaient de nombreux fleuves, était vraisemblablement une zone d'habitation favorable, très peuplée, voire civilisée. À la suite de l'invasion des eaux méditerranéennes, les zones littorales auraient été inondées.



théorie de Ryan (de e à h), il y a 17 000 ans, juste après le dernier maximum glaciaire, la mer Méditerranée et la mer de Marmara étaient séparées de la mer Noire, dont le niveau était 140 mètres plus bas (e). Avec la fonte des glaces, le niveau de la mer Noire serait remonté jusqu'à 15 mètres au-dessous du niveau actuel. Il y a quelque 14 000 ans, elle aurait fini par se déverser dans la mer de Marmara puis dans la mer Méditerranée, alors 90 mètres plus basse qu'aujourd'hui (f). La déglaciation terminée, le débit des eaux de fonte en mer Noire aurait ensuite diminué, et l'évaporation aurait alors progressivement ramené son niveau jusqu'à 150 mètres au-dessous du niveau actuel (g). Dans le même temps, les eaux de la Méditerranée continuaient à monter doucement. Il y a quelque 7 500 ans, la rupture du Bosphore les aurait précipitées dans le bassin de la mer Noire (h). Ce cataclysme expliquerait pourquoi l'ensemble des espèces lacustres a brusquement été détruit à cette époque. Depuis, de forts courants parcourent le Bosphore : tandis que les eaux salées de Méditerranée pénètrent en mer Noire par le fond du détroit, les eaux plus douces de la mer Noire s'écoulent en surface.



5. CETTE CAROTTE a été retirée par 93 mètres de fond en face de la Roumanie. L'échelle indique la longueur réelle des différentes strates qui la composent, lesquelles sont symbolisées par des couleurs différentes. La nature et l'ordre dans lequel ces strates apparaissent démontrent qu'à l'endroit d'où provient la carotte, il y a quelque 7 500 ans, la vie marine a succédé à la vie lacustre. À la base de la carotte, une épaisse couche d'argile contient des restes de coquillages lacustres *Dreissina* (couche a). Au-dessus (b), une couche intermédiaire d'à peine quatre centimètres d'épaisseur contient de nombreuses coquilles brisées de ce même coquillage, comme si un événement violent les avaient concassées, puis accumulées (couche d). Au-dessus (c), une couche de sables argileux mêlée de coquilles de moules révèle l'installation de la vie marine. Au-dessus encore, une couche d'argiles d'origine fluviale (d) témoigne de l'accumulation sur le plateau continental de la mer Noire de beaucoup de vase d'origine fluviale.

Les populations installées autour de la mer Noire auraient été chassées. Le souvenir de cette catastrophe se serait perpétué dans de nombreux mythes. Le récit du Déluge en fait-il partie ?

En mai 1998, l'IFREMER a envoyé le navire océanographique *Le Suroît* mener une campagne en mer Noire. Nommé BLASON, ce projet franco-roumain visait à confronter les deux hypothèses des connexions entre la mer Noire et la mer Méditerranée. Au cours de la mission, un sondeur multifaisceaux et des capteurs sismiques (mesure des ondes réfléchies sur les strates géologiques) ont scruté les fonds marins. Grâce au sondeur, les géologues embarqués à bord du navire *Le Suroît* ont pu établir des cartes tridimensionnelles de la forme du fond. Ils ont aussi étudié la nature des terrains qui le constituent. Les capteurs sismiques utilisés sont conçus pour mesurer les ondes réfléchies sur les strates géologiques ; ces ondes sont plus ou moins intenses en fonction de la nature du terrain rencontré. En outre, 38 nouvelles carottes de sédiments ont été prélevées entre 2 200 et 15 mètres de profondeur.

Leur analyse confirme l'arrivée massive d'eau salée, il y a environ 7 500 ans. Cette invasion aurait été soudaine au sens géologique, ce qui signifie qu'elle se serait produite en moins de 600 ans, le laps de temps qui sépare les dernières coquilles d'eau douce, vieilles de 7 500 ans, des premiers mollusques de mer, âgés eux de quelque 6 900 ans (voir la figure 5). L'une des carottes, longue de plus de sept mètres, montre que l'invasion par les eaux salées a été rapide et destructrice. À la base de la carotte, une vase marron est issue de la longue accumulation des sédiments lacustres. Plus haut, des coquilles cassées d'un mollusque lacustre (*Dreissina*) témoignent de l'action destructrice des eaux marines. Plus haut encore (c'est-à-dire plus tard), la présence de moules indique que les espèces habituelles des eaux salées se sont réinstallées.

Les scientifiques de BLASON ont aussi recherché les traces d'un ancien rivage. Quand une mer monte progressivement, elle marque sa progression de lignes littorales successives. En l'absence de telles lignes, le scénario d'une inondation rapide est plausible. Or, aucune trace de lignes littorales successives n'apparaît sur les premiers 150 mètres de profondeur.

En revanche, les chercheurs ont découvert un paysage de dunes à

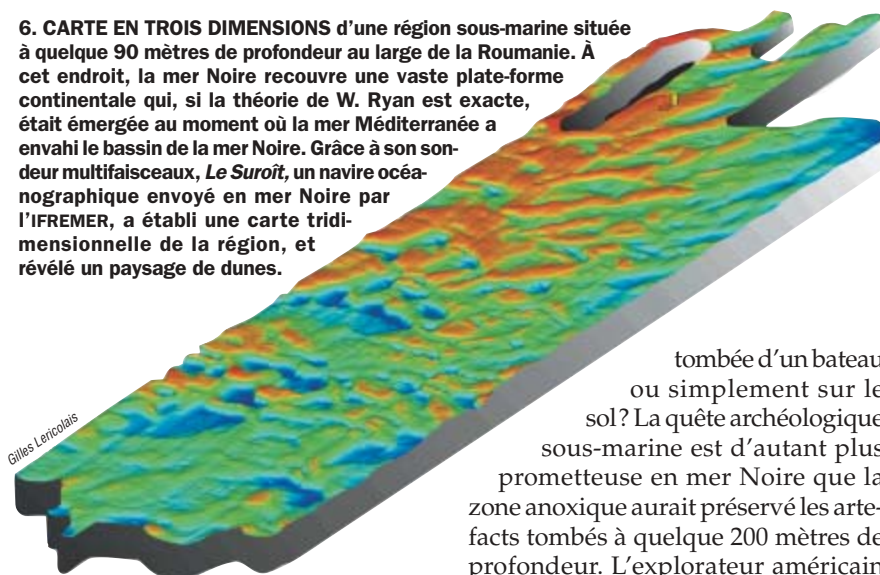
quelque 90 mètres sous les eaux. S'agit-il de dunes éoliennes, formées par le vent à proximité d'un rivage, ou de dunes hydrauliques, des bancs de sable formés par les courants marins ? Après avoir analysé la forme et les distances séparant ces dunes, les spécialistes des déserts estiment plausible que ces alignements aient une origine aérienne. Une carotte prélevée au sommet de l'une de ces dunes révéla qu'elle était faite d'un sable dont la structure indique une érosion éolienne et non marine. Le fait que ce désert sous-marin soit toujours en place indique que les dunes ont probablement été submergées à une vitesse de plusieurs centimètres par jour. C'est donc bien au-dessus d'un morceau submergé d'anciennes terres émergées que semble avoir navigué le navire *le Suroît* (voir la figure 6) !

Ainsi, les indices s'accumulent, qui indiquent que la mer Noire aurait été envahie, il y a 7 500 ans par les eaux la mer Méditerranée. La surface de l'eau du lac isolé qu'elle constituait, se trouvait à plus de 150 mètres au-dessous du niveau actuel. Sa stabilité résulte d'un équilibre entre l'évaporation et l'apport d'eau fluviale, comme c'est le cas dans toutes les mers fermées. Le niveau du lac qui occupait la mer Noire était relativement bas, car le débit des fleuves qui se jetaient dans ce bassin aurait baissé, il y a quelque 8 200 ans. Selon, W. Ryan, lorsque l'invasion s'est déclenchée, environ 50 kilomètres cubes d'eau se seraient écoulés chaque jour par le nouveau détroit : un tel débit correspondrait à environ 400 fois celui des chutes du Niagara ! Ce gigantesque flot aurait surélevé le lac d'une dizaine de centimètres par jour et envahi plus de 100 000 kilomètres carrés des terres environnantes.

La disparition en quelques années du territoire des civilisations qui jouxtaient la mer Noire a sans doute provoqué un exode massif. Les agriculteurs qui vivaient autour de la mer Noire auraient alors introduit l'agriculture en Europe en remontant les fleuves. Cette hypothèse est corroborée par les observations des archéologues, selon lesquelles l'agriculture est brusquement apparue en Transcaucasie et en Europe centrale il y a quelque 7 500 ans. L'arrivée des populations des bords submergés de la mer Noire explique-t-elle ce brusque progrès ?

Quelles recherches faut-il mener pour finir de prouver qu'il y a réellement eu un déluge, il y a 7 500 ans ? De nouvelles études doivent être menées

6. CARTE EN TROIS DIMENSIONS d'une région sous-marine située à quelque 90 mètres de profondeur au large de la Roumanie. À cet endroit, la mer Noire recouvre une vaste plate-forme continentale qui, si la théorie de W. Ryan est exacte, était émergée au moment où la mer Méditerranée a envahi le bassin de la mer Noire. Grâce à son sondeur multifaisceaux, *Le Suroît*, un navire océanographique envoyé en mer Noire par l'IFREMER, a établi une carte tridimensionnelle de la région, et révélé un paysage de dunes.



tombée d'un bateau ou simplement sur le sol? La quête archéologique sous-marine est d'autant plus prometteuse en mer Noire que la zone anoxique aurait préservé les artefacts tombés à quelque 200 mètres de profondeur. L'explorateur américain Robert Ballard s'est lancé dans cette quête. À l'aide d'une caméra-robot, il a notamment trouvé un navire romain dans un état exceptionnel de conservation, déposé par quelque 300 mètres de fond au large des côtes turques. La forme du fond juste après le détroit du Bosphore pourrait aussi livrer une preuve irréfutable de l'existence du Déluge. Si le Bosphore a brusquement laissé s'écouler un flot si puissant, alors les traces d'une intense érosion se trouvent à cet endroit. Une campagne d'étude du relief sous-marin devant le Bosphore devrait les révéler. Elle ne se fera qu'avec l'aval du gouvernement turc, car la forme du fond sous-marin à cet endroit est un secret militaire. Les sous-marinières russes, américains et turcs ont sûrement déjà mené une telle étude. Comment auraient-ils pu se faufiler dans leurs sous-marins à travers le Bosphore pendant toute la guerre froide s'ils n'avaient eu une connaissance précise du relief sous-marin? Ces précieuses données scientifiques risquent malheureusement de rester secrètes jusqu'au prochain Déluge.

sur la plate-forme continentale de Roumanie, d'Ukraine et de Bulgarie, car on devrait y trouver de nouvelles preuves de l'existence d'un ancien rivage submergé. Les recherches archéologiques ne sont pas non plus à négliger. Ainsi, les traces des populations qui vivaient à proximité de la mer Noire ont été trouvées en Bulgarie. Les archéologues bulgares et français ont notamment retrouvé sur le rivage bulgare les sépultures laissées par une civilisation avancée d'origine mystérieuse. Datées de quelque 6 500 ans, ces tombes témoignent d'un haut degré de maîtrise de la métallurgie. Cette civilisation qui semble venir de nulle part pourrait avoir laissé plus de traces sous les eaux de la mer Noire. Les archéologues de l'Académie des sciences bulgare ont retrouvé sous la mer, des traces de bois coupés et probablement de feu... En outre, il y a 30 ans, un géologue bulgare, Petko Dimitrov, a mis au jour par hasard une assiette néolithique enfouie dans des sédiments sous 100 mètres d'eau, au Nord-Ouest de la mer Noire. Est-elle

Gilles LERICOLAIS, géologue au Département des géosciences marines, à Brest.

William RYAN et Walter PITMAN, *Noah's Flood : The New Scientific Discoveries of the Event that Changed History*, Simon & Schuster, 1999.

Egon DEGENS et David ROSS, *Chronology of the Black Sea over the last 25 000 years*, in *Chem. Geol.*, vol. 10, pp. 1-16, 1972

W. RYAN et al., *An abrupt drowning of the Black Sea shelf*, *Marine Geology*, vol. 138, p. 119-126, 1997

Ali AKSU, Rick HISCOTT, et Durmaz YASAR, *Oscillating Quaternary water levels of the Marmara Sea and vigorous outflow into the Aegean Sea from the Marmara Sea Black Sea drainage corridor*, in *Marine Geology*, vol. 153, pp. 275-302, 1999.

D. ROSS, E. DEGENS et J. MACILVAINE, *Black Sea : recent sedimentary history*, in *Science*, vol. 170, pp. 163-165, 1970.

J. MILLIMAN, et K. EMERY, *Sea levels during the past 35 000 years*, in *Science*, vol. 162, pp. 1121-1123, 1968.

